

# 斜拉索的换索施工技术

谢永红 张春晖

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:** 斜拉桥在国内建设越来越多,随着斜拉索使用年限到来,为了延长桥梁的使用寿命,需要对斜拉索进行更换。本文着重介绍柳州壶西大桥的斜拉索更换施工技术。该桥为预应力混凝土独塔双索面斜拉桥,跨径 $2 \times 120$ 米。斜拉桥上部结构为板梁式结构,两边对称布置26对扇形拉索,共104根。换索施工过程包括:旧索放张,拆除;新索安装、张拉;新索锚固区域防腐;施工测量(索力、标高、位移)。

**关键词:** 平行钢丝索 拉索牵引机构 梁下平台 塔上平台 传感器 减振器

## 1 工程概况

柳州壶西大桥是柳州市柳江上第四座大桥,主桥为预应力混凝土独塔双索面斜拉桥,跨径 $2 \times 120$ 米。斜拉桥上部结构为板梁式结构,由主梁、内纵梁、横梁及桥面板组成,主梁矩形截面,宽2米,高2米。主塔为龙门结构,双横梁,桥面以上塔高60米;两边对称布置26对扇形拉索,桥面索距4米;桥面行车道18米,两侧人行道 $2 \times 2$ 米,索区 $2 \times 2$ 米,总宽度26米。主桥全长517米。

柳州壶西大桥建成通车运营至今已有12年,受当时防腐技术限制,现斜拉索已严重锈蚀。为了确保大桥的运营安全,经过多方的论证,需对该桥斜拉索进行更换。所换拉索采用平行钢丝拉索,拉索规格为7-73, 7-85, 7-109, 7-139, 7-151, 配套锚具为冷铸锚。

斜拉索安装施工示意图见图1。

## 2 斜拉索换索施工工艺流程(见图2)

### 2.1 斜拉索换索辅助设施安装

#### 2.1.1 预埋件的安装

由于挂索时必须进行辅助吊点等的焊接,拟在塔顶开凿,露出钢筋,然后把它当作预埋件的连接件。

塔顶预埋件包括塔顶支架固定、卷扬机固定等连接件。预先检查塔顶原有构件,根据需要采取开凿措施,见图3。

塔外预埋件安装在每根索塔外预埋管上管口的正上方约1m处,可以采用上一根索的预埋管内壁作为连接点,待换索完成之后割除,打磨上漆。

梁下预埋件主要用于拉索后牵引和梁下平台固定用,面前者连接在梁下预埋管上,后者采用配重的形式。

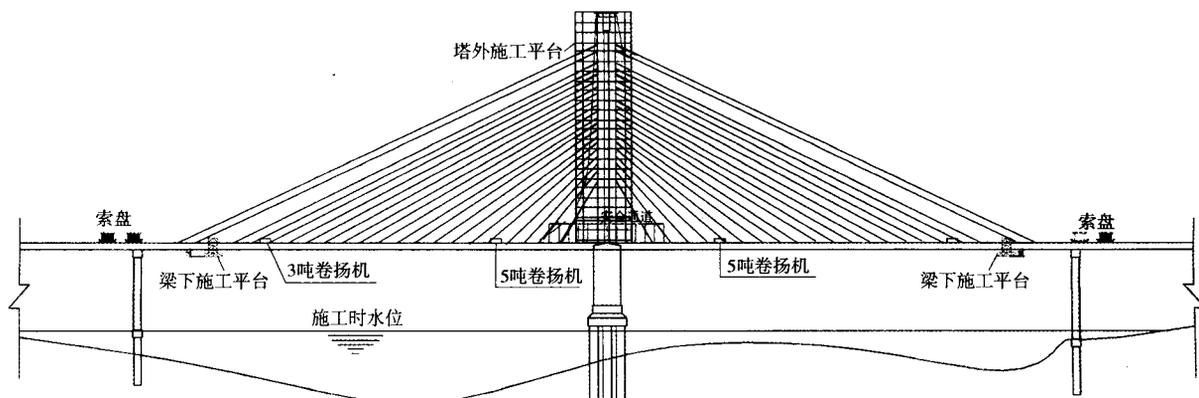


图1 斜拉索安装施工示意图

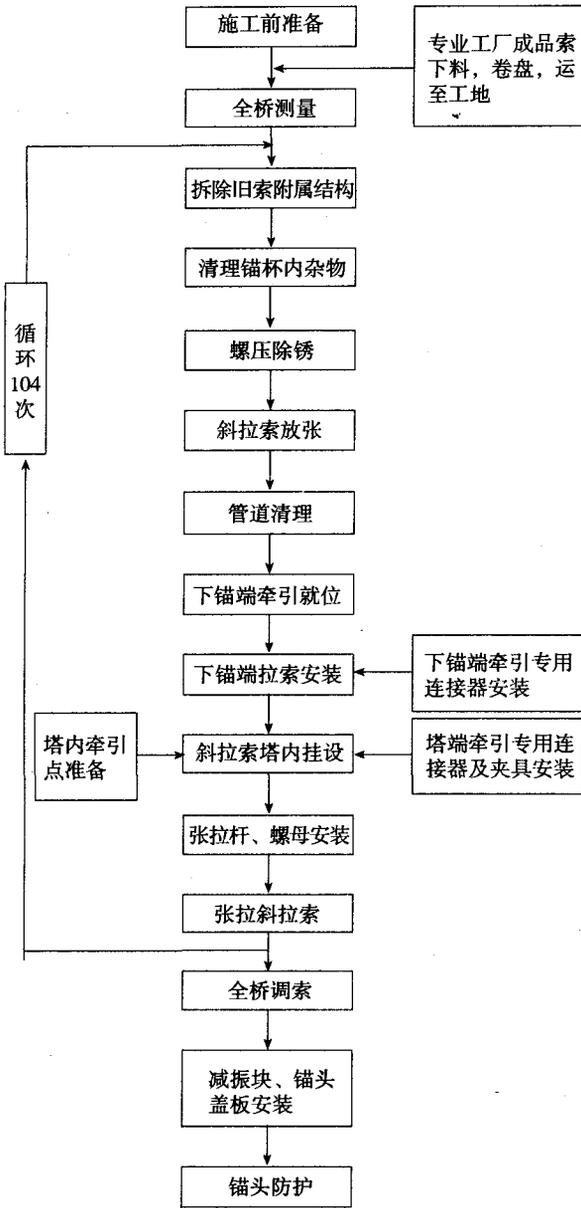


图2 斜拉索换索施工流程图

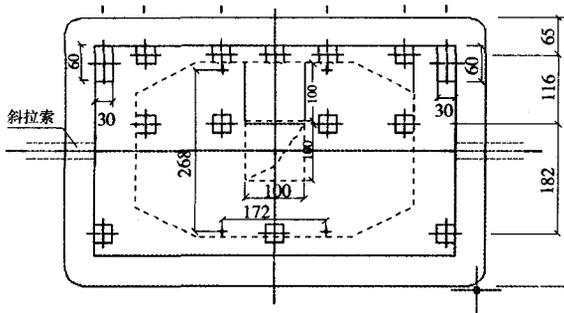


图3 塔顶预埋件示意图

### 2.1.2 施工平台

塔外平台直接设在施工脚手架施工平台上。假如斜拉索塔较高可采用活动的塔外平台施工。

梁底平台由平台、通道、悬臂梁、支承小车构成，小车的在人行道上行走，见图4。梁下平台安装先在桥面焊接制作，然后用汽车吊整体吊装。梁底平台作为安装斜拉索梁下锚头的施工平台之用，也是施工人员从桥面到梁下的施工通道，全桥共四个。

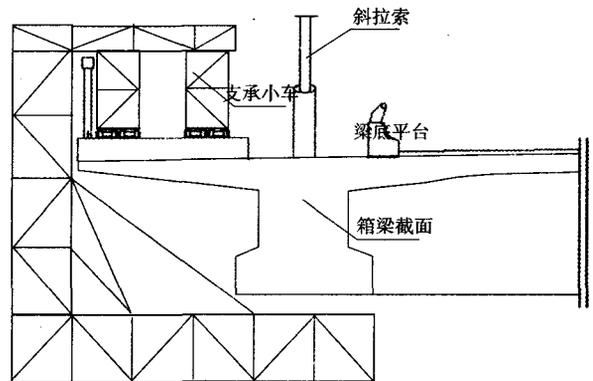


图4 梁底平台示意图

### 2.1.3 塔顶吊装机构

塔顶吊装机构包括拉索提升机构的连接均采用焊接工艺，与塔顶原预埋件固结。塔顶支架主要是用于斜拉索吊装时作为塔上的受力构件，同时也是起吊设备吊装的关键结构，见图5。

### 2.1.4 施工脚手架

主塔四周及横向设施工脚手架，从桥面一直搭到塔顶，见图6。脚手架施工平台是施工人员在塔外作业的施工场所，是在斜拉索拆除和安装时在塔外预埋管处的主要施工作业区，也是人员上下的施工通道，假如主塔很高可采用塔外移动施工平台进行作业。

### 2.1.5 拉索连接机构

拉索提升牵引过程中采用“哈弗”式抱箍（见图7），内圆面垫橡胶，主要用于在拆旧索和安装新索时吊装拉索之用，防止直接利用外力吊拉索时把拉索外的高密PE管破坏。

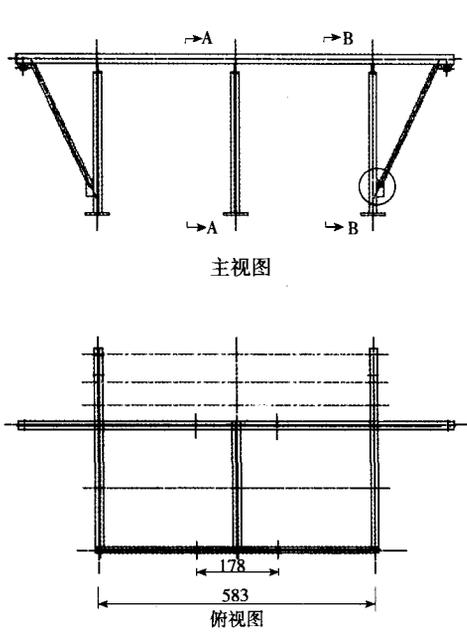


图5 塔顶钢支架示意图

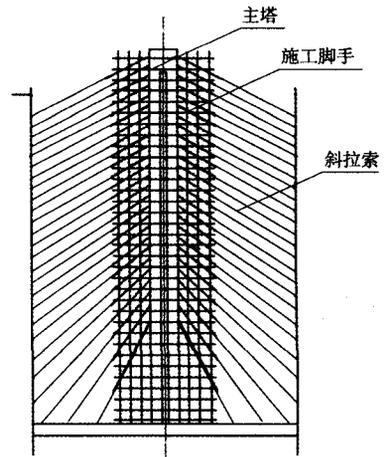


图6 施工脚手架

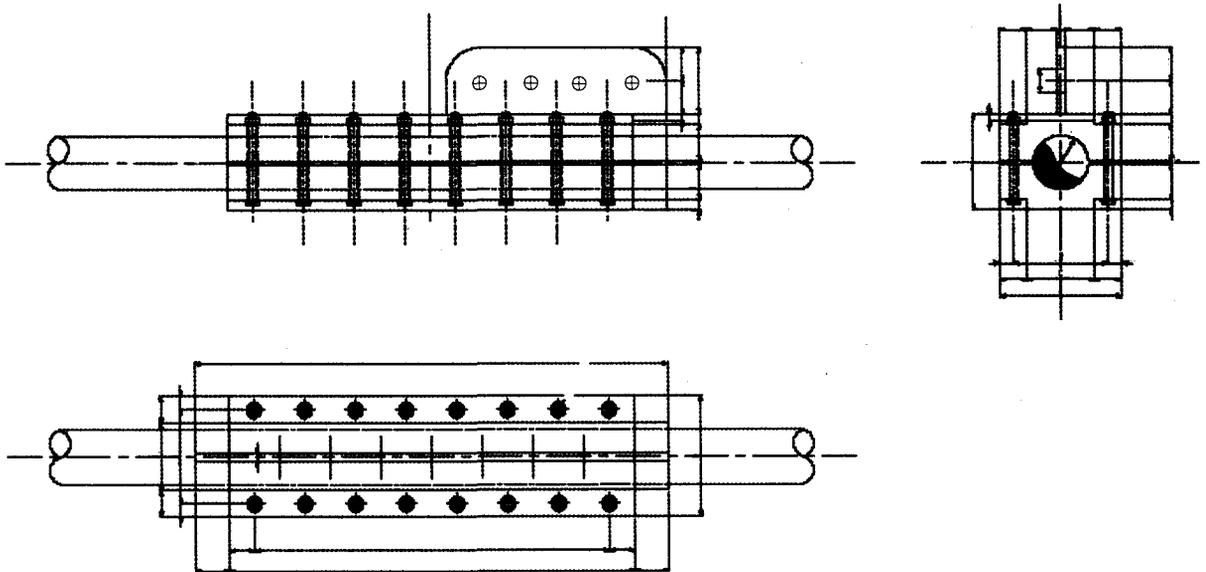


图7 “哈弗”抱箍示意图

### 2.1.6 起重设备安装

起重设备主要是卷扬机，卷扬机需连接良好。在0#段距主塔20m处布置四台5T挂索用卷扬机，中边跨上下游各一台，导向分别设在离塔根部，并且在塔顶钢支架上固定一组起吊能力达25T的滑轮组。在桥面离主塔布置四台5T牵索用卷扬机。在离主塔100米处两边各布置两台3吨的

牵引卷扬机做为辅助以便牵引索进预埋管。

### 2.1.7 放索架制作与安装

放索采用平放，利于控制，可以不用大型的吊装设备，用几个小千斤顶即可完成。本放索架设计成圆盘结构，由上下底盘构成，之间设轨道和滚珠。这样有利于放索时防止索盘向外倾斜，放索时不容易割伤索，能更好地保护索，见图8。

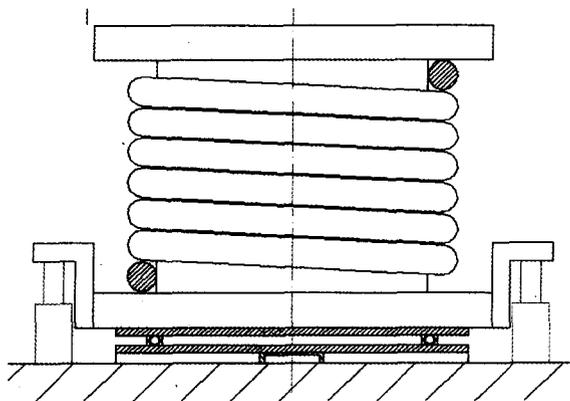


图8 放索架示意图

### 2.1.8 施工防护棚

因为采用半封闭施工,行人和机动车还有两个车道在通行,所以在主塔位位置必须设置施工防护棚,以保证车辆和行人的安全。按人行道作为施工区域,在斜拉索内侧用彩钢板做成安全围栏,在主塔纵桥向20米范围内搭设安全防护层,布置为上下车行道和人行道,车行道:宽×高=4.5m×4.5m,人行道:宽×高=1.5m×4.5m,采用型钢和脚手搭设而成,防止塔上掉物砸到桥面的行人和车辆,以保证施工安全,见图9。

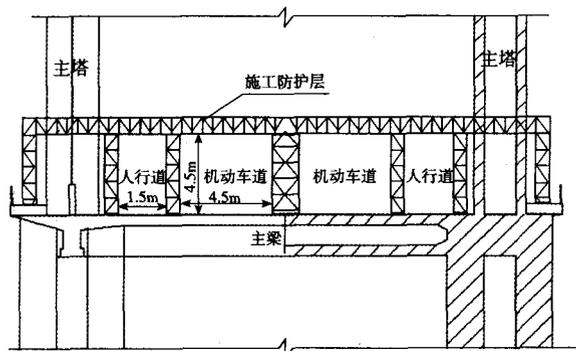


图9 施工防护棚示意图

### 2.1.9 施工计算

施工计算包括旧索和新索的垂度计算,初张力的计算,分级张拉级数计算以及锚具安装位置的计算等。

## 3 施工程序

### 3.1 材料运输

材料的运输主要指斜拉索的运输,具体方案是用汽车运到桥面,用起重设备把索盘吊装到放线架上。

### 3.2 放索

在边墩墩顶的桥面上放置放索支架,牵引端(即锚头)安放在牵引小车上,下绕部分则放在索中段独轮小车上,见图10。索体牵引路线沿人行道走,避开路灯灯柱。

### 3.3 拆除旧索部件

搭设脚手架,清除连接装置的表面杂物,拆除上下端的防水罩和保护罩,拆除上下端减振器,把锚杯内防腐油脂用棉纱清洗干净,有锈蚀的部位用锉刀处理。

在上端锚杯外螺牙上用丙酮擦洗,然后沿牙的螺旋方向用柴油渗透到螺母与锚杯的配合位置,静置24小时后对该斜拉索放张。

### 3.4 拉索张拉及牵引

拉索张拉及牵引包括旧索张拉放张、牵引下放;新索提升牵引和张拉。这两种施工均采用软牵引和软张拉工艺,这样可以减少拉杆更换的时间,提高施工效率。连接头及柔性拉杆(钢绞线)安全系数取2.0以上,采用P锚的锚固形式。见图11。

### 3.5 梁端拆索和挂索

#### 3.5.1 拆索

塔内用千斤顶放张之后,用塔顶机构和桥面卷扬机配合把旧索松弛下来,在拉索下端靠近预埋管的位置,用汽车吊吊起拉索一端,往背离主塔方向拽拉,梁底用葫芦把锚头拉出锚箱,然后拧松螺母,并用汽吊把拉索抽出索导管,完成梁端拆索。注意:如果下端螺母无法拧出,可以采用火焰割断处理。

#### 3.5.2 梁端挂索

挂索前先清除残留的杂物和碎屑,将锚箱孔道内的毛刺打平,并在索导管内壁采取除锈刷漆处理。采用汽车吊将斜拉索端头起吊,吊钩下放,利用斜拉索自重及梁下牵引葫芦,将锚头拉入索管内用螺母锚固,完成梁端挂索。

### 3.6 塔上放索及挂索

- (1) 连接头与锚具锚杯内螺牙连接。
- (2) 安装千斤顶及张拉前后撑脚。
- (3) 在塔外用“哈弗”抱箍在索导管出口处紧箍拉索,抱箍吊耳与牵引钢丝绳连接。
- (4) 千斤顶开始张拉直至达到拉索锚固应力

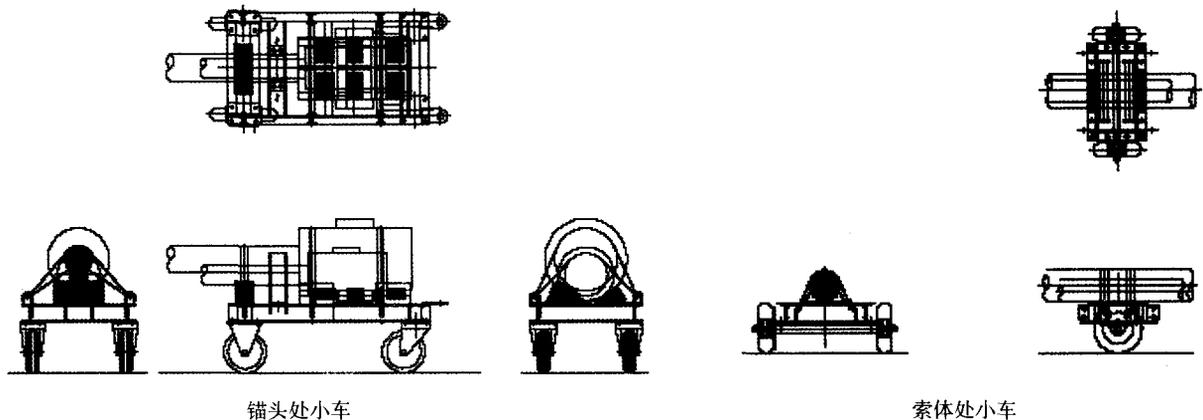


图10 小车结构示意图

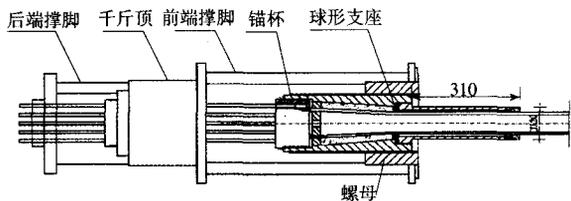


图11 张拉及牵引示意图

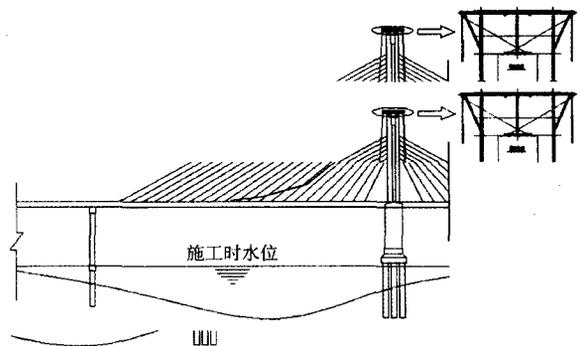


图12 斜拉索拆索及挂索示意图

(以螺母脱离锚垫板2mm为测量点), 反旋螺母, 同时用6磅锤子沿螺母轴向和径向轻敲螺母。

(5) 千斤顶通过两套工具锚反复张拉、放张, 直到牵引卷扬机完全承担拉索的自重, 然后拆除工具夹片。

(6) 用牵引卷扬机牵引拉索缓慢下放到桥面。

(7) 拆除连接头和柔性拉杆, 把它安装到新索的锚杯上, 并在新索张拉端适当位置安装“哈弗”抱箍。

(8) 拆除旧索下端锚具, 并对上下端锚垫板、索导管进行防腐处理。

(9) 用桥面卷扬机缓慢牵引拉索张拉端, 提升到塔外平台位置, 该处的工作人员把柔性拉杆(钢绞线)与塔内牵引绳连接, 并往里拽拉, 直到可以安装张拉组件。

(10) 用千斤顶往塔内牵引, 直到完全受力, 解除“哈弗”抱箍。

(11) 千斤顶继续张拉牵引, 直到达到控制应力, 锁紧锚固螺母, 此时完成一对旧索拆除、一对新索的安装换索过程。

### 3.7 斜拉索张拉

#### 3.7.1 张拉设备

在拉索锚固点, 用安装在撑脚上的YCW650型千斤顶系统对每根拉索进行张拉。

#### 3.7.2 第一次张拉

换索过程中的张拉属于第一次张拉, 张拉力由弹性变形量、非弹性变形量以及环境情况影响而确定。

#### 3.7.3 张拉控制

(1) 根据监控指令进行张拉。

(2) 为保证张拉时克服张拉部件的变形量对有效应力的影响, 张拉到控制应力之后, 超张拉1%然后拧紧锁紧螺母, 锚固卸压。

(3) 斜拉索张拉统一采取塔上张拉, 每根索需进行两次张拉, 张拉过程中索塔顺桥向两侧的拉索和横桥向对称的拉索须对称同步张拉, 同步张拉的不同步索力差值不超出设计规定值。两侧不对称或设计索力不同的拉索, 按照设计规定的索力分级同步张拉, 各个千斤顶同步之差不大于油表读数的最小分格, 索力中值误差小于 $\pm 5\%$ 。

(4) 在整体张力过程中, 采用JMM268-1索力动测仪进行辅助测量。

### 3.7.4 第二次张拉(全桥调索)

斜拉索全部更换完成之后, 如需调整桥面标高, 则进行整体调索。调索工况、顺序、部位、应力根据监控指令而定, 索力控制措施同第一次张拉一致。塔上张拉见图13。

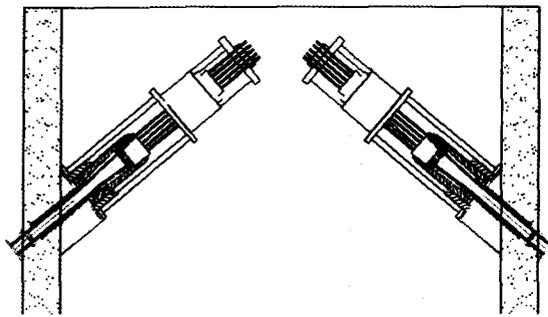


图13 塔上张拉示意图

### 3.8 换索顺序

换索顺序原则上根据设计院的计算顺序进行, 但考虑到旧索的承载能力会造成一定安全隐患, 按照锈蚀严重的先换的原则进行。

换索按四个点同步进行, 同步误差控制在设计范围之内。

换索前先用动测仪测量拉索索力, 然后张拉到初应力, 通过千斤顶测量该索应力, 同时上述两个索力与设计计算索力比较, 以便参考。

### 3.9 施工测量与监控

施工测量包括: 桥面高程测量、主塔位移测量、斜拉索索力测量。

索力测量可以通过千斤顶、动测仪(测量频谱法)测量。在放旧索前先用千斤顶对旧索进行张拉, 在拉索螺母刚离开锚垫板时, 读出千斤顶的张拉力, 与动测仪(测量频谱法)测量的力, 进行比较, 综合分析后得出该旧索的最终拉力, 换成新索的张拉力, 该索更换后以这个索力为标准进行控制。

桥面高程测量可以采用桥面控制点以水准仪进行测量, 方法是在主塔下方0#段的位置设置观测点。在每根旧拉索放张之前测量该索桥面处的标高, 以及相邻四对索的桥面标高, 记录数据, 在该索拆除后再测量一次标高, 记录数据, 对比

桥面标高下降量。换好新索后再测量一次标高, 对比两者标高的差值。测量时间最好在早上5时进行, 桥面车流量少, 温度大概20度左右。

主塔位移测量可以采用全站仪测量, 方法是在岸跨某一观测点以安装在主塔上棱镜的反光测出主塔位移的变化值。每更换一对斜拉索前后都要对主塔的位移进行测量每一次, 以便进行对比。

测量工况分四部分: 一是在换索前进行联测, 确定各参数的控制基点; 二是在换索过程中每更换一对索就测量一次, 与理论控制值进行比较, 确保换索过程施工安全; 三是施工过程中联测, 目的就是控制桥面线型和优化索力; 四是换索完成之后进行一次通测。

### 3.10 减振器、防水罩的安装

(1) 将减振器平推入预埋管后, 通过对减振器契块顶压使减振橡胶沿径向膨胀, 从而将斜拉索契紧, 然后旋紧契块尾部的螺母将契块锁定, 最后从减振器之间的缝隙向预埋管内注入防腐油脂。

(2) 斜拉索上端连接装置和下端的防水罩以及上下端锚具的保护罩安装需按产品工艺进行。

### 3.11 斜拉索防护

(1) 全部斜拉索更换完成后, 用索上行走挂篮对索体PE层进行检查, 对有损伤的部位及时进行有效修补。

(2) 斜拉索两端预埋管口内灌注防腐油脂或发泡剂等防腐材料, 防止拉索受到腐蚀以延长拉索的寿命。

(3) 斜拉索两端锚具外露部分安装保护罩, 内注油脂进行保护。

## 4 小结

柳州壶西大桥在斜拉索的旧索拆除和新索的安装施工中, 采用了每对旧索同时放张、拆除, 每对新索同时安装, 同时张拉, 特别是在桥梁运行状况中进行更换拉索, 在国内是少见的。为了避免桥梁在施工中产生较大的变形, 采用很多监控措施, 取得很好的效果, 为以后此类桥梁换索积累了很好的施工经验。随着国内许多旧斜拉桥的拉索达到使用年限, 都需要更换斜拉索, 此项斜拉索更换技术将会得到越来越广泛的应用。